Aus der Orthopädischen Klinik der Universität Düsseldorf

Direktor : Prof. Dr. K.P. Schulitz

Der cervikale Facettenneigungswinkel (C_3-C_7)

- Experimentelle Untersuchungen an Mazerationspräparaten -

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Heinrich Schraauw

1 9 8 1

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536504_0119

Aus der Orthopädischen Klinik der Universität Düsseldorf

Direktor : Prof. Dr. K.P. Schulitz

Der cervikale Facettenneigungswinkel (C_3-C_7)

- Experimentelle Untersuchungen an Mazerationspräparaten -

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Heinrich Schraauw

1 9 8 1

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Straßburg

Referent
gez.: Prof. Dr. Schulitz

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Podlesch

I N H A L T

	Seite
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2. ALLGEMEINER TEIL	3
2.1. Entwicklungsgeschichte der Halswirbelsäule	3
2.1.1. Ossifikation der Wirbelkörper	3
2.1.2. Ossifikation der Wirbelbögen	4
2.2. Die Anatomie der Halswirbelsäule unter besonderer Berücksichtigung der Wirbelgelenke	5
2.3. Bewegungsmuster	8
2.4. Bewegungsausmaße	1o
3. HAUPTTEIL	14
3.1. Material und Methode	14
3.2. Ergebnisse	18
3.2.1. Durchschnittswerte der Facettenneigungswinkel	18
3.2.2. Der Facettenneigungswinkel im segmentalen Vergleich	21

Seite

3.2.3. Durchschnittswerte der Facetten-neigungswinkel in Abhängigkeit vom Alter 26

3.2.4. Stellungsvarianten der Wirbel-bogengelenke 27

4. DISKUSSION 31

5. ZUSAMMENFASSUNG 34

6. LITERATURVERZEICHNIS 36

1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die Halswirbelsäule des Menschen ist aus mehreren Bewegungssegmenten (JUNGHANNS 1951) zusammengesetzt. Jedes Segment besteht aus der Bandscheibe mit den benachbarten Wirbelkörpern, den Wirbelgelenken und dem ligamentären Verbund, die eine funktionelle Einheit bilden.

Im biomechanischen Verbund mit dem "Halbgelenk Zwischenwirbelscheibe" bestimmt die Stellung der Wirbelbogengelenke zusammen mit der Bandscheibe sowohl die Wirbelsäulenhaltung als auch deren Funktion (SCHMORL und JUNGHANNS 1932). Untersuchungen an der Lendenwirbelsäule haben belegen können, daß zwischen der Stellung der Facetten, der Funktion und der Lokalisation von degenerativen Aufbraucherscheinungen innerhalb der einzelnen Segmente statistisch auffällige Beziehungen bestehen (NIETHARD 1978).

Derartige Untersuchungen liegen für die Halswirbelsäule bisher nicht vor. Gerade für die Funktion der Halswirbelsäule wurden bisher nur röntgenologische Untersuchungen angestellt. Auch wurde die exakte Stellung der Facetten noch nicht definiert.

Das ungestörte Zusammenwirken der Bandscheibe mit dem Wirbelbogengelenkpaar ist aber unabdingbare Voraussetzung für die funktionelle Integrität eines jeden Bewegungssegmentes (JUNGHANNS 1979).

Da das Bewegungsmuster der Halswirbelsäule aber nur definiert werden kann bei Kenntnis der exakten Stellung der Gelenke, war es Aufgabe der Arbeit, die Winkelstellungen der Wirbelbogengelenke zu messen.

DECKING und TER STEEGE (1975) geben ein Verfahren an, den Neigungswinkel im seitlichen Röntgenbild zu messen. Da aber das seitliche Röntgenbild die Bewegungssegmente nur übereinander projiziert wiedergeben kann, wird die Neigung der Gelenke ausschließlich in Bezug auf die Horizontalebene erfaßt und die Kippung der Gelenke zur Frontalebene vernachlässigt.

Aus den genannten Gründen sollten die Messungen an mazerierten Präparaten erfolgen, um die Position der Facetten exakt zu definieren.

2. Allgemeiner Teil

2.1. Entwicklungsgeschichte der Halswirbelsäule

Grundlage des Achsenskelettes ist die Chorda dorsalis. Von ihr nimmt die Entwicklung der Wirbelsäule ihren Ausgang.

Mit Beginn des zweiten Monats beginnt die Verknorpelung und mit Beginn des dritten Monats setzt in der pränatalen Ontogenese die Verknöcherung der Wirbel ein, wobei ein Ossifikationszentrum im Corpus liegt und jederseits ein paariges im Bogen des Wirbels am Querfortsatzabgang sichtbar wird. In der zeitlichen Reihenfolge des Auftretens der Knochenkerne fällt auf, daß sich an der Halswirbelsäule zuerst die Bogenkerne bilden und die Körperkerne erst relativ spät im Vergleich zu anderen Regionen der Wirbelsäule erscheinen. In den Wirbelkörpern verläuft die Verknöcherung enchondral, in den Bögen perichondral. Ausschlaggebend für die Einleitung der Ossifikation und die erste Formgebung der entstehenden Knochenkerne sind nach TÖNDURY (1958) die einwachsenden Blutgefäße.

2.1.1. Ossifikation der Wirbelkörper

Die ersten Verkalkungsherde treten im untersten Abschnitt der Brustwirbelsäule auf, von wo aus der Prozeß cranial- und caudalwärts weiterschreitet (TÖNDURY 1958).
EXNER (1954) nimmt dagegen den Ausgang der Ossifikation an der Lumbosakralgrenze an.

Bis zur Geburt vergrößern sich die Knochenkerne in den Wirbelkörpern durch appositionelles Wachstum und erreichen die dorsale und ventrale Oberfläche, auf welcher perichondraler Knochen in dünner Schicht abgelagert wird, der

nur von Gefäßkanälen durchbrochen wird. Cranial und caudal des Wirbelkörpers sitzt je eine Knorpelplatte als konkave Scheibe dem Knochenkern auf, die -(die Wirbelbögen sind zu dieser Zeit fast vollkommen verknöchert)- die Grenze zum Intervertebralraum bilden. Das Zentrum der Verknöcherung stellt den primären Markraum dar. Mit Beginn der Ossifikation wird der Knorpel von innen heraus abgebaut, bis auf die Knorpelplatten, die als Epiphyse das Höhenwachstum der Wirbelkörper garantieren und als Abschlußplatten Markraum und Bandscheibenareal trennen. Solange die Knorpelplatten intakt sind, wachsen keine Blutgefäße aus dem Wirbelkörper in die Bandscheiben vor (EXNER 1954, TÖNDURY 1958).

Die Hauptmasse des Wirbelkörpers entsteht also enchondral. Nur an Stellen, wo der Knochenkern mit dem Perichondrium in Berührung tritt, bildet sich eine perichondrale Knochenschale.

2.1.2. Ossifikation der Wirbelbögen

Im Gegensatz zum Wirbelkörper beginnt die Verknöcherung der Wirbelbögen cranial und reicht caudalwärts vor. Das heißt, daß in demselben Keimling verschiedene Ossifikationsstufen anzutreffen sind. Diese Auffassung wird von EXNER (1954) sowie von TÖNDURY (1958) vertreten.

Im vierten Monat sind alle Wirbelbogenknochenkerne gebildet.

Die Knochenkerne der linken und rechten Wirbelbogenhälfte wachsen durch Vergrößerung aufeinander zu und bilden den Dornfortsatz, der ebenso wie die Gelenk- und Querfortsätze keinen eigenen Knochenkern besitzt.

Zapfenförmige, von den Wirbelbogenknochenkernen ausgehende Knochenausläufer bilden die Gelenk- und Querfortsätze und wachsen in ventraler Richtung bis weit in den Wirbelkörper hinein und tragen so zu dessen Verknöcherung mit bei.

Die Processus uncinati werden ebenfalls von der Knochenanlage des Bogens gebildet.

2.2. Die Anatomie der Halswirbelsäule unter besonderer Berücksichtigung der Wirbelgelenke

Die menschliche Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln. Diese sind mit Ausnahme von Atlas und Axis, dem ersten und zweiten Wirbel, durch Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales) verbunden.

Der Wirbelkörper hat die Form eines "Pyramidenstumpfes" (Exner 1954). Im Horizontalschnitt hat der Halswirbelkörper nahezu rechteckige Form. Die cranialen Deckplatten weisen senkrecht stehende Knochenleisten auf, die Processus uncinati genannt werden und dem Wirbelkörper eine sattelartige Form verleihen. Die Deck- und Bodenplatte sind konkav gewölbt. Der Wirbelbogen überragt den Wirbelkörper an den Seiten erheblich. Er entspringt an den dorsolateralen Kanten des Wirbelkörpers und vereinigt sich im Dornfortsatz, indem er das Foramen vertebrale bildet. Dies hat die Form eines gleichschenkligen Dreiecks.

Der Durchmesser des Spinalkanals nimmt vom Wirbelkörper C_1 von durchschnittlich 21,4 mm bis zum Wirbelkörper C_7 auf durchschnittlich 17,5 mm ab (WHOLEY und Mitarbeiter 1958).

An der Bogenwurzel stellt man eine quere Einsattelung fest, die Incisura vertebralis superior und inferior. Diese

bilden aus zwei Wirbeln je ein Foramen intervertebrale für den Spinalnerv und die ihn begleitenden Gefäße.

Vom Wirbelbogen haben ihren Ausgang die Querfortsätze, sowie die oberen und unteren Gelenkfortsätze und der Dornfortsatz.

Die Querfortsätze haben eine hinteren Schenkel (Processus transversarius) und einen vorderen Schenkel (Processus costarius), die das Foramen transversarium umschließen. Auf ihrer Oberseite verläuft der nach außen, vorn abwärts ziehende Sulcus nervi spinalis. Die Gelenkfortsätze (Processus articularis superior und inferior) gehen hinter dem Querfortsatz aus dem Wirbelbogen hervor. Die Gelenkflächen sind oben wie unten leicht konkav gewölbt und in vivo von Hyalinknorpel überzogen. Sie sind für die Führung und Einengung der Bewegung verantwortlich (EXNER 1954). Bei den Halswirbeln , die ausgiebige Bewegungen nach fast allen Seiten gestatten, sind die Gelenkflächen um 45° gegen die Horizontale von vorn oben nach hinten unten geneigt. Sie bilden fünf Gelenkpaare, die Rotation um einen weit hinter den Dornfortsätzen gelegenen Drehpunkt sowie eine Lateralflexion ermöglichen (BENNINGHOFF und GOERTTLER 1975).

Am gleichen Wirbel liegen obere und untere Gelenkflächen parallel zueinander. EXNER (1954) vergleicht die Gelenkfortsätze der Halswirbelsäule mit den Latten einer Jalousie, welche - um ihre Längsachse gedreht - stets parallel zueinander stehen. Da diese Jalousiestellung an den einzelnen Halswirbeln verschieden ist, resultiert daraus eine unterschiedliche sagittal-flexorische Beweglichkeit in den Bewegungssegmenten (EXNER 1954).

Wenn man die Intervertebralgelenke vom Epistropheus ab caudalwärts verfolgt, so fällt am Processus articularis inferior des zweiten Halswirbels gegenüber den anderen Gelenkfortsätzen eine besondere Stellung seiner Gelenkflächen auf. Der Neigungswinkel derselben beträgt nur 25° bis 28° gegenüber der Hinterkante des Wirbelkörpers. Die Gelenkfläche selbst ist kreisförmig und fast plan. Die rechte und die linke Facies articularis bilden einen nach dorsal offenen flachen Winkel. Sie liegen tangential einem Kreis mit großem Radius an, dessen Drehpunkt sich weit hinter den Dornfortsätzen befindet. Form und Stellung dieses Intervertebralgelenkes entsprechen dem geringen Bewegungsumfang, der zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel sowohl in sagittal-flexorischem als auch rotatorischem Sinne möglich ist. Für die Lateralflexion ist diese Gelenkposition etwas günstiger. - Am dritten Halswirbel entspricht der Processus articularis superior in Form und Stellung dem unteren Gelenkfortsatz des Epistropheus. Seine untere Gelenkfläche hat jedoch bereits einen Neigungswinkel von 45° bis 5o°. Dadurch ist eine ausgiebige Bewegung in der Sagittalebene möglich. Rechte und linke Gelenkebene liegen annähernd auf einer Geraden (EXNER 1954).

Das Intervertebralgelenk $C_{4/5}$ hat gleichfalls einen Neigungswinkel der Gelenkflächen von 45° bis 5o°. Die Gelenkebene liegt etwas dorsal von der Hinterkante des vierten Halswirbelkörpers. Die Gelenkflächen sind nach vorn konkav gewölbt und die rechte und linke Seite liegen wiederum in einer Geraden. Die hier bereits stärker ausgeprägte Wölbung gestattet auch eine größere sagittal-flexorische Bewegung. Noch betonter wird die Krümmung der Gelenkflächen am Intervertebralgelenk $C_{5/6}$, das nach den Untersuchungen von FICK (19o4), VIRCHOW (1928) und BAKKE (1931) die größte Einzelbewegung von allen Intervertebralverbindungen der Halswirbelsäule besitzen soll. Die vermehrte Wölbung betrifft

hauptsächlich den unteren Gelenkfortsatz des fünften Halswirbels. Am Processus articularis inferior des siebten Halswirbels ist die Konkavität der Gelenkflächen wieder geringer (EXNER 1954).

2.3. Bewegungsmuster

Die Bewegungsmuster lassen sich in drei Ebenen unterteilen :

a) die sagittale,
b) die frontale und
c) die horizontale Bewegungsebene.

Das Bewegungsmuster der Halswirbelsäule hängt von dem Bau und der Form der Facetten und der Intervertebralverbindungen und den möglichen Bewegungen ab. Die Flächen der Intervertebralverbindungen stehen nahezu senkrecht zur Sagittalebene (FIELDING 1964, PENNING 1968). Die Inclination zur Frontalebene beträgt 45° (LYSELL 1969). Die cranialen Facetten sind nach rückwärts oben, während die caudalen Facetten nach vorn abwärts gerichtet sind (LYSELL 1969).

Bei der Flexion kippt und gleitet der Wirbelkörper nach vorn über den darunter liegenden Wirbel. Es entsteht auf der Ventralseite eine Kompression und auf der Dorsalseite der Wirbelkörper eine Dehnung des Discus. Die caudale Facette gleitet nach vorne oben über die Facette des darunter liegenden Wirbels (LYSELL 1969).

Die meisten Autoren bemerken, daß die Kippung und das Gleiten gleichzeitig auftreten. JONES (196o) stellt dagegen fest, daß die Flexion mit der Kippung beginnt und das Gleiten später folgt.

Bei der Extension ist das Bewegungsmuster umgekehrt (LYSELL 1969).

LIECHTI (1944) und BUETTI-BÄUML (1954) beschreiben Beugung und Streckung als Rollbewegung zwischen zwei Halswirbeln, nicht als einfache Drehung um eine transversale Achse. Bei Sagittalbewegungen erfährt jeder Wirbel gegenüber dem nächst tieferen eine leichte Verschiebung und Kippung, so daß die Vorder- und Hinterkante eine treppenförmige oder dachziegelartige Kontur bilden.

Die Bewegungen in der Frontal- und Horizontalebene sind voneinander abhängig, da eine Latero-Flexion immer mit einer Rotation verbunden ist. Das heißt, eine Seitneigung nach rechts ist kombiniert mit einer Rotation im Uhrzeigersinn nach rechts und eine Seitneigung nach links ist kombiniert mit einer Rotation nach links gegen den Uhrzeigersinn. Das Bewegungsmuster in der Horizontalebene ist dasselbe wie in der Frontalebene (LYSELL 1969).

Auch DITTMAR (1931) und BUETTI-BÄUML (1954) behaupten, daß Lateralbewegungen stets mit einer Rotation verbunden sind, während BAKKE (1931) und GÜNTZ (1958) eine Torsion nicht feststellen konnten.
Bei der Seitbewegung gleitet die caudale Facette auf der konkaven Seite nach hinten unten und wird gegen die darunter liegende Facette gedrückt. Auf der konvexen Seite der Neigung gleitet die Facette nach vorne oben und der Gelenkzwischenraum vergrößert sich (LYSELL 1969).

Zusammenfassend kann das Bewegungsmuster der Halswirbelsäule in zwei unterschiedliche Typen geteilt werden. In der Sagittalen läuft die Bewegung in einer Ebene ab; jeder Punkt eines Wirbels bewegt sich parallel zur Sagittalebene. Die Bewegung kann man als Rotation um eine bewegliche oder unbewegliche Achse verstehen, die senkrecht auf der Ebene steht (LYSELL 1969).

Die Bewegungen in der Frontal- und Horizontalebene geschehen in verschiedenen Ebenen und sind aber zur Sagittalebene symmetrisch und können daher als Rotation um einen Punkt in dieser Ebene aufgefaßt werden. Die beiden Arten der Bewegung werden von der Form der Bandscheiben und der Gelenkverbindungen kontrolliert (LYSELL 1969).

2.4. Bewegungsausmaße

Die Halswirbelsäule ist der beweglichste Teil des gesamten Rumpfskeletts. BÄRTSCHI-ROCHAIX (1949) bezeichnete sie als fünfte Extremität, von der der Kopf getragen wird. Die Beweglichkeit beruht allgemein auf dem Bewegungsausmaß, das die kleinen Wirbelgelenke zulassen, wobei die Zwischenwirbelscheiben eine große Rolle mit spielen (PSCHIRRER, 1968).

Nach FICK (19o4) ist die Beweglichkeit zwischen den einzelnen Wirbeln vor allem abhängig von der Höhe der Zwischenwirbelscheiben im Verhältnis zu ihrem Querschnitt.

Im Vergleich zu anderen Abschnitten der Wirbelsäule ist die Halswirbelsäule stark segmentiert. Die sieben Wirbelkörper sind insgesamt etwa 11 cm hoch. Dazwischen sind sechs Intervertebralscheiben vorhanden, das heißt für je 1,8 cm ein bewegliches Glied (MEBS 1964).

"Die Bandscheiben zeigen die Größe, die Gelenkfortsätze die Richtung der Hauptbewegung" (FICK 19o4).
Dieselbe Auffassung wird auch von RIZZI (1979) vertreten.

DITTMAR (1931), OTTO (1955) und ECKLIN (196o) sehen den Grund der guten Beweglichkeit in sagittaler Richtung auch in der Form der Halswirbelkörper, vor allem in ihrem kurzen sagittalen Durchmesser.

Die Beweglichkeit der unteren Halswirbelsäule kann ebenso wie die Bewegungsmuster in drei Hauptebenen unterschieden werden :

a) die sagittale,
b) die frontale und
c) die horizontale Bewegungsebene.

Daraus ergibt sich eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten der Bewegungen (GÜNTZ 1958).

Die sagittale Flexion und Extension setzen sich zusammen aus der Nickbewegung zwischen Occiput und Atlas, aus einer sagittalen Schleifbewegung zwischen vorderem Atlasbogen und Epistropheuszahn, sowie der sagittal-flexorischen Bewegung zwischen den fünf Wirbel-Bandscheibenverbindungen (EXNER 1954).

Daraus ergibt sich eine funktionelle Zweiteilung der Halswirbelsäule in einen oberen Teil (C_1 und C_2) und einen unteren Teil (C_3 bis C_7). Das obere Kopfgelenk ist nach FICK (19o4) ein "beschränktes Kugelgelenk". Dieses kann die größte sagittal-flexorische Bewegung ausführen. Auch das Gelenk zwischen C_1 und C_2 rechnet FICK (19o4) zu den Kopfgelenken aufgrund ihres abweichenden anatomischen Baues. Dieses läßt in der sagittalen Bewegungsebene allerdings nur Schaukelbewegungen zu.

BAKKE (1931) hat zwischen C_1 und C_2 eine ventrale Flexion von 11,7° gemessen, während VIRCHOW (1928) eine Gesamtbewegung von 16° angibt.

Die Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule in der Sagittalebene wird von verschiedenen Autoren wie folgt angegeben :

	ventral	dorsal	Gesamt-flexion
FICK (19o4)	9o°	9o°	18o°
VIRCHOW (1928) in vivo	-	-	96°
VIRCHOW (1928) an der Leiche	89,75°	45,5°	133,25°
BAKKE (1931) an der Leiche	32°	7o,4°	1o2,4°
DITTMAR (1931)	46°	6o°	1o6°
ALBERS (1954)	42°	3o°	72°
BUETTI-BÄUML (1954)	-	-	1oo°
MEBS (1964)	47,6°	53,4°	1o1,o°

Tabelle 1 : Angaben der Beweglichkeit der Halswirbelsäule in der Sagittalebene von verschiedenen Autoren

Die größte Beweglichkeit in der Sagittalebene gibt BUETTI-BÄUML (1954) zwischen den Segmenten $C_{4/5}$ und $C_{5/6}$ an, während DE SÈZE und Mitarbeiter (1951) die größte Beweglichkeit bei $C_{5/6}$ und $C_{6/7}$ mit 27,5° bzw. 17,5° angeben.

LYSELL (1969) beschreibt die Gesamtbeweglichkeit in der Sagittalebene mit 64°, wobei er bei C_4, C_5 und C_6 die größte Beweglichkeit feststellt.

BAKKE (1931) gibt die größte Lateralflexibilität zwischen drittem bis fünftem Halswirbel mit etwa 6° an bei einer Gesamtneigung der Halswirbelsäule von 23°. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt MEBS (1964).
LYSELL (1969) beschreibt eine Latero-Flexion von insgesamt 49°, wobei C_3, C_4, C_5, C_6 die größte Beweglichkeit mit ca. 9° aufweisen. Da die Latero-Flexion immer mit einer Rotation

verbunden ist (DITTMAR 1931, BUETTI-BÄUML 1954, LYSELL 1969), gibt LYSELL (1969) eine kombinierte Latero-Flexion/Rotation mit der größten Beweglichkeit bei C_2 an und die geringste Bewegungsmöglichkeit bei C_7.

Die Drehungsmöglichkeit der Halswirbelsäule ist - abgesehen von der Atlas-Axisbewegung - relativ gering, da es keine einheitliche Längsachse der Wirbelsäule gibt, sondern infolge ihrer physiologischen Krümmung in der Sagittalebene geschwungen ist (GÜNTZ 1958).

Die Gesamtrotation der Halswirbelsäule wird mit etwa 45° zu jeder Seite angegeben, wobei das Atlas-Axisgelenk etwa 3o° und die übrigen Halswirbelsäulensegmente 15° zu der Rotationsbewegung beitragen (HINZ und ERDMANN 1967).

3. HAUPTTEIL

3.1. Material und Methode

Zur Untersuchung wurden 4o Halswirbelsäulen verwendet, die in der Gerichtsmedizin bzw. im Pathologischen Institut der Universität Düsseldorf ohne besondere Auswahl entnommen worden waren und, nachdem sie in 4 Ebenen geröntgt waren, mazeriert wurden. Der Zeitraum der Erfassung erstreckt sich über 1o Monate (September 1979 bis Juni 198o). Das Alter variierte zwischen 15 und 81 Jahren bei einem Durchschnitt von 46 Jahren. Die Messungen wurden mit einen He-Nc Laser und einem Zweikreisgoniometer (Firma METAL RESEARCH LTD.), einem Apparat zur Messung von Neigungswinkeln, durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurden die Gelenkfacetten und die Bodenplatten der mazerierten Halswirbel mit reflektierender Folie beklebt (Abb. 1 und 2).

Die Bodenplatte wurde in den Strahlengang des Lasers gebracht und so montiert, daß auf dem Goniometer Längen- und Breitengrad 0° aufwiesen und der reflektierte Strahl der Bodenplatte einen bestimmten Punkt (Referenzpunkt) traf, der jeweils an einer benachbarten Wand festgelegt wurde. Somit war die Bodenplatte als Basiswert fixiert.

Nun wurden die Gelenkfacetten mit Hilfe der Einstellschrauben des Goniometers so in den Strahlengang des Lasers gedreht, daß der reflektierte Strahl der Gelenkfacetten auf den schon oben erwähnten Referenzpunkt traf (Abb. 3). Die Auslenkung konnte nun am Goniometer in Längen- und Breitengrad abgelesen werden, wobei der Längengrad die Neigung zur Horizontalebene und der Breitengrad die Kippung zur Frontalebene der Gelenkfacetten wiedergibt.

Abbildung 1 : Mit Folie beklebte craniale Facetten

Abbildung 2 : Mit Folie beklebte caudale Facetten und Bodenplatte

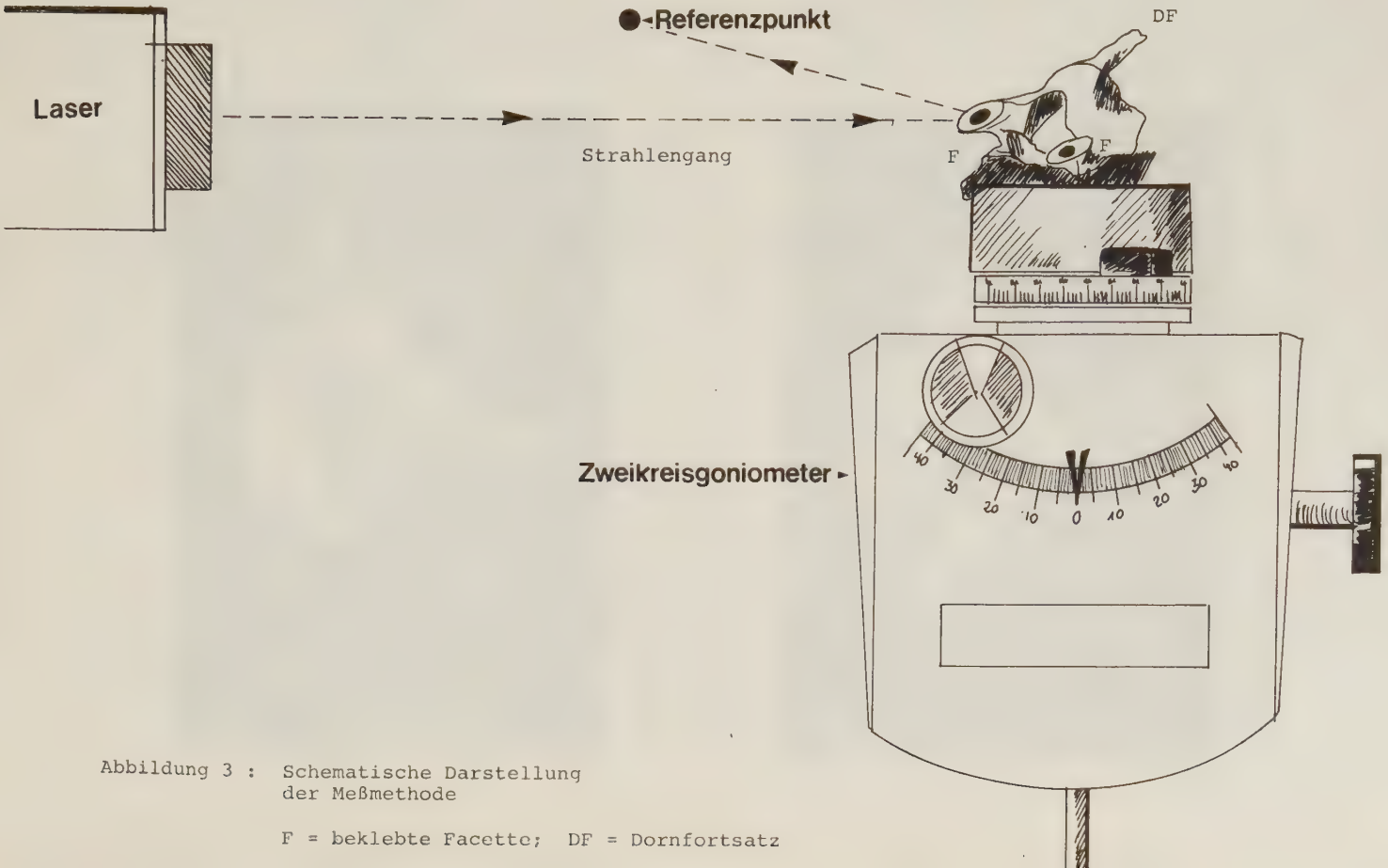


Abbildung 3 : Schematische Darstellung der Meßmethode

F = beklebte Facette; DF = Dornfortsatz

Insgesamt wurden 8oo Gelenkfacetten gemessen. Im einzelnen entfielen von den 4o Halswirbelsäulen 14 auf das weibliche und 26 auf das männliche Geschlecht.

Um eventuell altersspezifische Besonderheiten erfassen zu können, wurde eine Gliederung in drei Altersgruppen vorgenommen:

	männl.	weibl.	Gesamt
- Altersgruppe I : bis 4o Jahre	11	5	16
- Altersgruppe II: 41 - 6o Jahre	9	8	17
- Altersgruppe III: über 6o Jahre	6	1	7
	26	14	4o

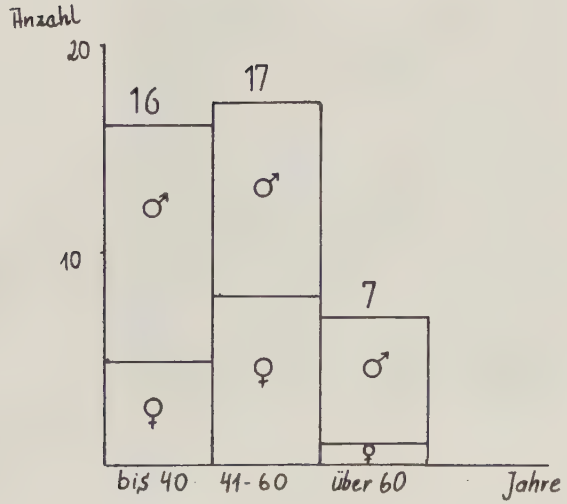


Abbildung 4 : Graphische Darstellung der Alters- und Geschlechtsgruppierung der untersuchten Präparate. (n = 4o)

Die Gradzahl wurde am Goniometer unter o,5° abgerundet, ab o,5° aufgerundet. Zur Auswertung der Ergebnisse wurde die Rechenanlage der Universität Düsseldorf herangezogen, die im Rahmen der statistischen Auswertungen nach dem BMDP (Bio Medical Computer Program 1975) die Analysen nach folgenden Verfahren durchführte :

1. Deskriptive statistische Untersuchungen mit Häufigkeitsberechnungen und Mittelwertbestimmungen.

2. Standardabweichungen der Mittelwerte und Varianzanalysen.

3.2. Ergebnisse

3.2.1. Durchschnittswerte der Facettenneigungswinkel

Bei der Facettenneigung wurde unterschieden in eine horizontale Neigung (Abb. 5) und eine frontale Kippung (Abb. 6).

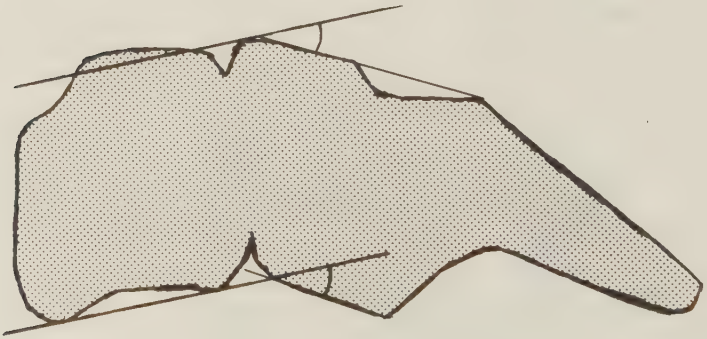


Abbildung 5 : Die horizontale Neigung der cranialen und caudalen Facetten

Die Messungen zeigen, daß die caudalen Gelenkfacetten um ca. 7° - 8° weniger horizontal geneigt sind als die Gelenkfacetten der Deckplatten.

Die durchschnittliche horizontale Neigung der cranialen Gelenkfacetten von C_3 - C_7 beträgt 43,6°, während die caudalen Gelenkfacetten im Schnitt 51° geneigt sind. (Tabelle 2)

Daraus ergibt sich ein Mittelwert von 47° horizontaler Neigung der Gelenkfacetten von C_3 - C_7.

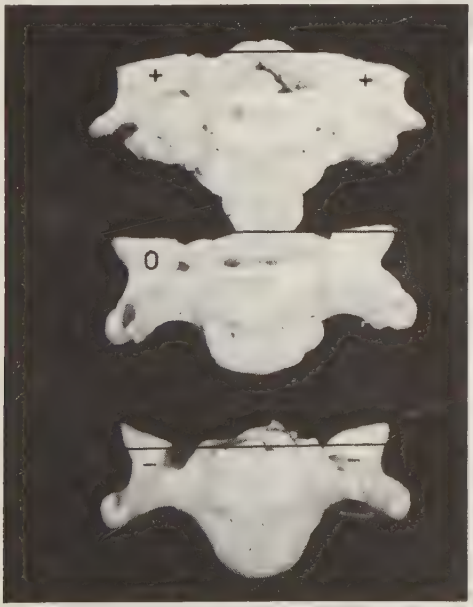


Abbildung 6 : Darstellung des unterschiedlichen frontalen Kippungsverhalten am Beispiel dreier Wirbel.
(+ = vom Wirbelkörper weg geneigte Facette)
(- = zum Wirbelkörper hin geneigte Facette)

Die Kippung zur Frontalebene kann positiv (+), das heißt vom Wirbelkörper weg geneigt, oder negativ (-), das heißt zum Wirbelkörper hin geneigt sein (Abb. 6). Sie beträgt im Durchschnitt - 2°, das heißt, daß die Gelenkflächen von C_3 - C_7 um 2° zu dem Wirbelkörper hin geneigt sind. Die cranialen Facetten weisen ein Mittel von - 3,6° auf und die caudalen Facetten eine Winkelstellung von -1° (Tabelle 2).

		horizontal	frontal
craniale Facetten			
C_3 - C_7	rechts	43,1°	- 5,5°
	links	44,o°	- 1,6°
caudale Facetten			
C_3 - C_7	rechts	51,o°	+ 1,2°
	links	51,1°	- 3,3°

Tabelle 2 : Durchschnittlicher Facettenneigungswinkel in Bezug zur Horizontal- und Frontalebene von C_3 - C_7 (n = 8oo)

Eine geschlechtsspezifische Stellung der Gelenkfacetten kann nicht festgestellt werden.

Es ergaben sich keine statistisch gesicherten Abweichungen, obwohl gerade die Differenzen der Winkelwerte bezüglich der Horizontalebene auf erhebliche Stellungsvarianten hindeuten (Tabelle 3).

		MÄNNLICH			WEIBLICH	
		$\bar{x}$	Stand. Abw.	Δ	$\bar{x}$	Stand. Abw.
craniale Facette						
$C_3 - C_7$	rechts frontal	- 5,3°	± 14,3°	- 0,4°	- 5,7°	± 14,6°
	rechts horizont.	42,1°	± 11,0°	2,8°	44,9°	± 13,0°
	links frontal	- 1,4°	± 13,9°	- 0,6°	- 2,0°	± 12,9°
	links horizont.	43,7°	± 12,2°	0,9°	44,6°	± 12,7°
caudale Facette						
C_3-C_7	rechts frontal	1,4°	± 12,0°	0,7°	0,7°	± 12,6°
	rechts horizont.	50,5°	± 11,6°	1,8°	52,3°	± 12,5°
	links frontal	- 3,9°	± 12,6°	- 1,9°	- 2,0°	± 10,7°
	links horizont.	50,6°	± 11,4°	1,4°	52,0°	± 12,0°

Tabelle 3 : Aufteilung der Gelenkfacettenstellung nach Geschlecht
n = 800

3.2.2. Der Facettenneigungswinkel im segmentalen Vergleich

Im segmentalen Vergleich ergeben sich für den Neigungswinkel zur Horizontalen spezifische Unterschiede (Tabelle 4). Die cranialen Gelenkflächen zeigen in

	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
CRANIALE FACETTE					
RECHTS	42,6 ± 12,7	4o,9 ± 9,4	36,8 ± 8,9	4o,2 ± 7,4	54,6 ± 11,6
I	47,6 ± 12,3	43,8 ± 9,4	39,8 ± 8,6	43,4 ± 7,5	6o,2 ± 12,1
II	4o,8 ± 12,2	38,6 ± 9,7	34,4 ± 9,7	37,6 ± 6,7	51,1 ± 1o,5
III	34,3 ± 1o,6	4o,o ± 4,1	35,7 ± 6,3	39,o ± 6,5	5o,4 ± 9,1
p-WERT	o,o64	o,262	o,22o	o,o73	o,o41*
LINKS	44,2 ± 13,2	4o,8 ± 1o,6	37,2 ± 9,5	43,3 ± 9,7	54,3 ± 11,7
I	49,o ± 13,o	45,6 ± 1o,2	41,9 ± 9,5	47,6 ± 9,8	58,9 ± 1o,6
II	43,1 ± 11,9	37,5 ± 11,1	34,9 ± 8,6	4o,3 ± 8,9	52,2 ± 12,9
III	34,7 ± 13,6	37,8 ± 5,9	31,7 ± 6,3	4o,4 ± 8,6	49,o ± 7,5
p-WERT	o,o66	o,o61	o,o25*	o,o65	o,1o5
CAUDALE FACETTE					
RECHTS	48,3 ± 9,o	44,9 ± 11,2	44,8 ± 9,9	59,4 ± 1o,2	58,1 ± 1o,1
I	51,3 ± 9,7	48,7 ± 9,8	48,6 ± 9,2	64,6 ± 1o,8	61,5 ± 11,6
II	47,2 ± 7,7	42,5 ± 13,1	44,3 ± 1o,1	56,1 ± 8,4	56,1 ± 9,5
III	43,o ± 9,3	41,7 ± 6,6	37,7 ± 7,9	55,1 ± 8,5	55,o ± 5,5
p-WERT	o,13o	o,213	o,o46*	o,o26*	o,2o7
LINKS	47,8 ± 1o,1	44,1 ± 11,o	48,5 ± 1o,1	58,1 ± 9,5	56,8 ± 1o,8
I	52,8 ± 1o,o	48,6 ± 11,o	51,1 ± 11,1	62,3 ± 1o,7	59,5 ± 13,5
II	45,4 ± 9,o	41,5 ± 11,4	47,8 ± 9,9	55,1 ± 6,9	56,4 ± 8,8
III	41,3 ± 8,2	4o,1 ± 6,6	44,3 ± 7,7	55,4 ± 9,1	51,7 ± 6,3
p-WERT	o,o21*	o,1oo	o,321	o,o64	o,26o

Tabelle 4 : Die durchschnittlichen Neigungswinkel der cranialen und caudalen Facetten zur Horizontalebene (n = 8oo)

I = bis 39 Jahre
II = 4o bis 59 Jahre
III = über 6o Jahre

Bezug zur Bodenplatte eines jeden Wirbelkörpers von C_3 (43°) bis C_5 (37°) abnehmende Werte, während bei C_6 (4o°) und C_7 (55°) eine ansteigende Tendenz erkennbar wird. Es zeigt sich also eine Abnahme der Horizontalneigung von C_3 bis C_5, während bei C_5 und C_6 wiederum eine stärkere Inclination zu beobachten ist. Die jeweils caudalen Facetten verhalten sich spiegelbildlich zu den cranialen Gelenkfacetten des nächst tiefer gelegenen Wirbels (Abb. 7).

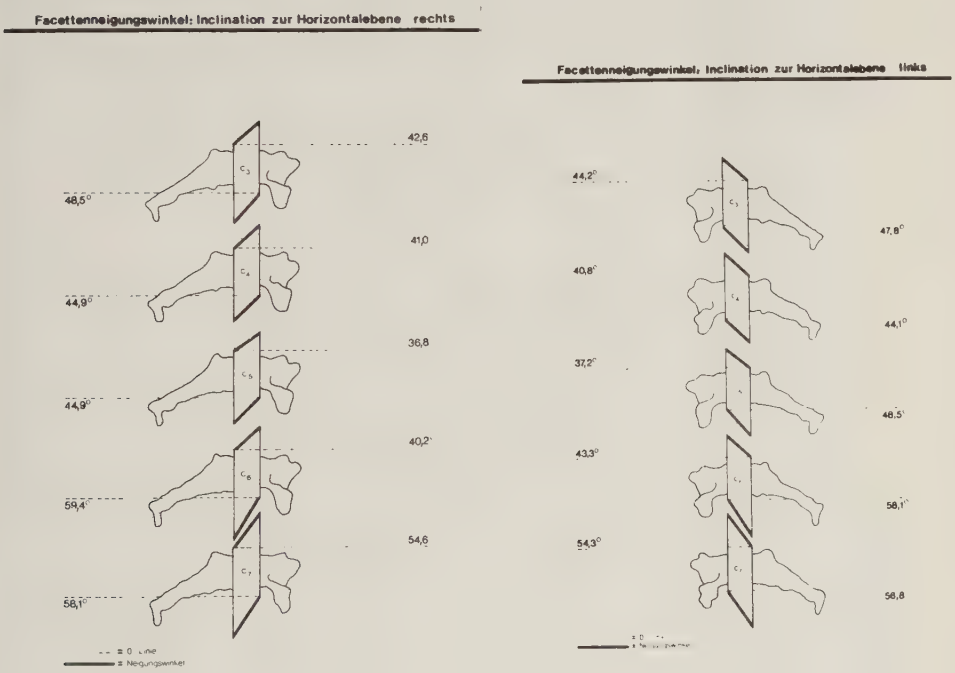


Abbildung 7 : Der durchschnittliche Facettenneigungswinkel in Bezug zur Horizontalebene (links und rechts) (n = 8oo)

Bei der Kippung der Gelenkfacetten zur Frontalebene fällt auf, daß C_3 mit - 21° die stärkste Kippung nach medial aufweist und gleichzeitig relativ stark zur Horizontalebene geneigt ist.

Bei C_4 ist diese Medialneigung auf etwa - 4° reduziert.

C_5 und C_6 zeigen demgegenüber aufgrund des Vorzeichens ein Kippungswechsel dergestalt, daß die Facetten nunmehr nach außen weisen. Die Winkelwerte der caudalen Facetten verhalten sich wiederum spiegelbildlich zu den Werten der cranialen Gelenkflächen des nächst tiefer gelegenen Wirbels.

Zwischen C_3 und C_6 findet also bezüglich der Frontalebene ein auffallender Kippungswechsel von innen nach außen um etwa 3o° statt (Abb. 8).

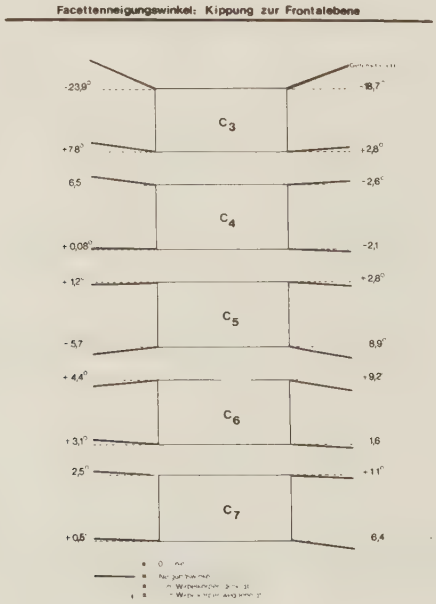


Abbildung 8 : Die durchschnittliche Kippung der Facetten zur Frontalebene (n = 8oo)

	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
CRANIALE FACETTE					
RECHTS	- 23,9 ± 1o,4	- 6,5 ± 9,2	1,2 ± 7,6	4,4 ± 11,1	- 2,5 ± 13,2
I	- 21,2 ± 1o,1	- 5,8 ± 9,3	4,5 ± 4,8	5,9 ± 13,o	- 4,3 ± 15,1
II	- 27,9 ± 8,3	- 6,9 ± 8,2	- 1,1 ± 8,7	2,4 ± 9,4	o,4 ± 11,2
III	- 2o,o ± 13,9	- 7,o ± 13,1	- 1,o ± 8,1	5,6 ± 11,1	- 5,6 ± 13,2
p-WERT	o,1o3	o,933	o,o74	o,664	o,479
LINKS	- 18,7 ± 12,4	- 2,5 ± 8,9	2,8 ± 9,6	9,2 ± 9,5	1,1 ± 8,8
I	- 21,7 ± 1o,2	- 2,9 ± 8,9	8,1 ± 8,1	12,6 ± 1o,6	1,2 ± 1o,8
II	- 16,2 ± 14,1	- 3,2 ± 7,5	o,9 ± 6,6	4,5 ± 7,9	1,4 ± 7,2
III	- 17,5 ± 13,3	± o,o ± 12,1	- 4,7 ± 12,8	12,3 ± 6,1	o,3 ± 8,5
p-WERT	o,451	o,7o8	o,oo4*	o,o31*	o,961
CAUDALE FACETTE					
RECHTS	7,8 ± 8,6	o,1 ± 1o,2	- 5,7 ± 12,4	3,1 ± 13,o	o,5 ± 12,4
I	5,9 ± 8,6	- 4,4 ± 7,8	- 8,4 ± 13,8	1,9 ± 13,6	- o,6 ± 11,1
II	9,o ± 8,8	3,8 ± 11,6	- 4,4 ± 12,4	2,2 ± 15,o	2,8 ± 12,9
III	9,7 ± 7,7	1,3 ± 8,4	- 2,7 ± 8,4	7,7 ± 4,3	- 2,3 ± 14,8
p-WERT	o,51o	o,o63	o,515	o,593	o,6o2
LINKS	2,8 ± 12,2	- 2,1 ± 9,6	- 8,9 ± 9,5	- 1,6 ± 12,5	- 6,4 ± 12,7
I	o,9 ± 15,9	- 5,9 ± 8,4	- 11,7 ± 9,5	- 1,4 ± 12,2	- 9,6 ± 11,1
II	3,7 ± 8,7	o,5 ± 9,8	- 7,1 ± 9,9	- 4,3 ± 14,2	- 1,5 ± 12,8
III	5,2 ± 1o,2	o,3 ± 1o,o	- 6,8 ± 8,1	4,o ± 7,7	- 11,o ± 13,8
p-WERT	o,717	o,121	o,325	o,35o	o,1o9

Tabelle 5 : Die durchschnittlichen Kippungswinkel der cranialen und caudalen Facetten zur Frontalebene (n = 8oo)

I = bis 39 Jahre
II = 4o bis 59 Jahre
III = über 6o Jahre

* statistisch signifikant

3.2.3. Durchschnittswerte der Facettenneigungswinkel in Abhängigkeit vom Alter

In Bezug zur Horizontalebene zeigt sich eine Abnahme der Neigung zur Horizontalen (Tabelle 4). Dieser Trend läßt sich sowohl für einige der oberen als auch der unteren Gelenkfortsätze statistisch signifikant nachweisen. Darüber hinaus sind diese Abhängigkeiten in den meisten der übrigen Segmente selbst noch auf dem 1o-Prozent-Niveau statistisch auffällig.

Wie an der Verteilung der Neigungswinkel in den einzelnen Segmenten abzulesen ist, sind flach eingestellte Facetten in den Abschnitten C_4 - C_6 die Regel. In diesen Segmenten weisen die Sagittalbewegungen ihr Maximum auf gegenüber nur geringen Bewegungsumfängen für die kombinierte Rotation und Seitneigung. Wenn mit zunehmendem Alter die Facetten allgemein geringer geneigt zu sein scheinen, so könnte man mit Hilfe der Studien von LYSELL (1969), der die geringsten Torsionsbewegungen bei C_7 feststellt, wo sich die am wenigsten horizontal geneigten Facetten finden, einen Hinweis für die altersbedingte Abnahme der Latero-Flexion/Rotation vermuten.

Demgegenüber zeigt die Analyse über Altersgruppen und Facettenneigungswinkel bezüglich der Kippungswerte zur Frontalebene kein geordnetes Verhalten (Tabelle 5). Ein regelmäßiges Kippungsverhalten ist also nicht ersichtlich.

3.2.4. Stellungsvarianten der Wirbelbogengelenke

Grundsätzlich sind Fehlstellungen der Gelenkflächen in drei Ebenen des Raumes möglich. Bevorzugt findet sich eine mehr sagittal eingestellte Facette der einen neben einer mehr frontal ausgerichteten Gelenkfläche der anderen Seite (bevorzugt C_3, C_4). (Abb. 9)

Abbildung 9 : Asymmetrie der Facette zur Frontalebene

In anderen Fällen variiert vorwiegend der Neigungswinkel zur Horizontalebene, so daß stärker inclinierte mit eher flach eingestellten Facetten kombiniert auftreten (C_5 - C_7). (Abb. 1o)

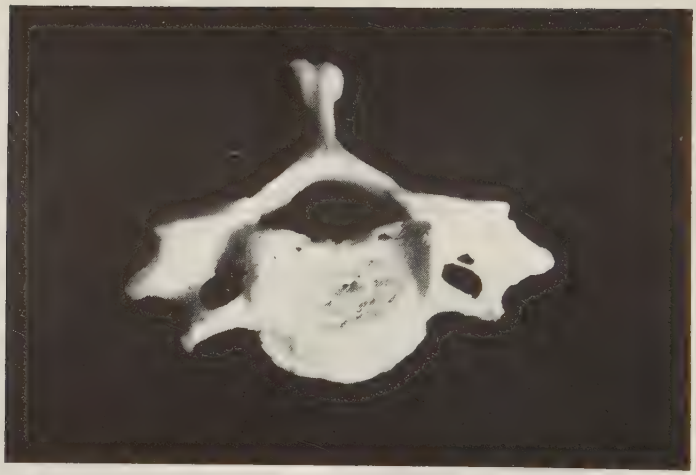


Abbildung 1o : Facettenasymmetrie in Bezug zur Horizontalebene

Bereits die nicht unerhebliche Streubreite der vermessenen Facettenneigungswinkel läßt auf zahlreiche Asymmetrien innerhalb der Segmente schließen. Auffällige Seitendifferenzen bestehen nicht. Damit ist sogleich der Hinweis gegeben, daß sich die asymmetrisch eingestellten Gelenkflächen gleichermaßen auf die rechte und linke Wirbelbogengelenkreihe verteilen.

Bei Berücksichtigung der prinzipiell möglichen Stellungsvarianten wurden Winkeldifferenzen innerhalb eines Bewegungssegmentes von mindestens 5° als Asymmetrie definiert und entsprechend registriert (Tabelle 6).

	GESAMT	ABWEICHUNG ZUR HORIZONTALEBENE	ABWEICHUNG ZUR FRONTALEBENE
$C_{2/3}$	33 = 82 %	45 %	55 %
$C_{3/4}$	26 = 65 %	46 %	54 %
$C_{4/5}$	21 = 52 %	48 %	52 %
$C_{5/6}$	21 = 52 %	62 %	38 %
$C_{6/7}$	24 = 6o %	58 %	42 %
$C_{7/Th\ 1}$	26 = 65 %	54 %	46 %

Tabelle 6: Häufigkeit der Facettenasymmetrien (5°) in den cervicalen Bewegungssegmenten der unteren Halswirbelsäule (n = 8oo)

Aus der Übersicht ist zunächst die Häufung von Facettenasymmetrien des cervico-thoracalen Überganges mit etwa 65 % ersichtlich. Übertroffen wird diese Rate jedoch in den cranialen Bewegungssegmenten der unteren Halswirbelsäule. Gerade im Bewegungsabschnitt $C_{2/3}$ weist mit 82 % praktisch jedes Gelenkpaar eine Winkeldifferenz von mindestens 5° auf.

Auffällig ist zudem, daß sich trendmäßig Asymmetrien zur Horizontalebene bevorzugt in den caudalen Abschnitten, zur Frontalebene hingegen mehr in den cranialen Bewegungssegmenten manifestieren.

Dieses Verteilungsmuster bestätigt sich auch bei einer willkürlichen Eingrenzung der Asymmetrien auf eine Winkeldifferenz von mindestens 1o° (Tabelle 7).

Im Segment $C_{2/3}$ weisen immerhin noch 22 % und bei $C_{7/Th\ 1}$ 12 % aller untersuchten Abschnitte eine derartige Stellungsasymmetrie sowohl zur Horizontal- als auch gleichzeitig zur Frontalebene auf. Fehlstellungen in dieser Ausprägung sind beispielsweise bei $C_{3/4}$ und $C_{6/7}$ nicht vorhanden.

$C_{2/3}$	:	9	(22 %)
$C_{3/4}$	:	o	(o %)
$C_{4/5}$	:	3	(7 %)
$C_{5/6}$	:	4	(1o %)
$C_{6/7}$	:	o	(o %)
$C_{7/Th\ 1}$	:	5	(12 %)

Tabelle 7: Rate der Facettenasymmetrien von mindestens 1o° Seitendifferenz zur Horizontal- und Frontalebene (n = 8oo)

4. DISKUSSION

Trotz zahlloser biomechanischer und funktioneller Arbeiten über die Wirbelbogengelenke liegen bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur die Meßwerte von DECKING und TER STEEGE (1975) für die Halswirbelsäule vor. Die Autoren gaben ein Verfahren an, den Neigungswinkel im seitlichen Röntgenbild zu messen.

Da im seitlichen Röntgenbild die Gelenke eines Bewegungssegmentes übereinander projiziert sind, lassen sich die erhobenen Werte nur als Summationswinkel auffassen, welche die Neigung der Gelenke ausschließlich in Bezug auf die Horizontalebene erfassen, ohne Kippungen zur Frontalebene zu berücksichtigen. Werte über Messungen des Frontalwinkels sind in der Literatur bisher nicht angegeben.

Somit lassen sich lediglich die Werte der Horizontalwinkel gemessen an Mazerationspräparaten (anatomischer Winkel) mit den von DECKING und TER STEEGE (1975) am Röntgenseitbild gemessenen Winkeln vergleichen (röntgenologischer Winkel).

Die bei dieser Arbeit angewandte Methode berücksichtigt nicht die Wölbung der Wirbelkörperbodenplatte (Basiswert) und nicht die Wölbung der Facetten. Beim Aufkleben der Reflexpailletten wurde allerdings eine Summation der Winkelwerte angestrebt.

Übereinstimmung ergibt sich mit DECKING und TER STEEGE (1975) hinsichtlich der Entwicklung der Facettenneigungswinkel, die von $C_{2/3}$ bis $C_{4/5}$ kontinuierlich abnehmen, um dann bei $C_{5/6}$ und $C_{6/7}$ wieder anzusteigen. Das heißt, die Facetten sind von C_3 - C_5 in zunehmendem Maße horizontal eingestellt, während die ansteigenden Werte bei C_6 und C_7 eine wiederum stärkere Inclination dokumentieren. Die jeweils caudalen Facetten verhalten sich spiegelbildlich zu den cranialen Gelenkflächen des nächst tiefer gelegenen Wirbels.

Ausgehend von diesen Werten sollte man erwarten können, daß der craniale und caudale Cervicalabschnitt ein gleichförmiges Bewegungsmuster aufweisen. Wie die Studien von LYSELL (1969) aber gezeigt haben, sind im cranialen Abschnitt Torsionsbewegungen wesentlich umfangreicher möglich als caudal.

DECKING und TER STEEGE (1975) stellten fest, daß die Gelenkneigungswinkel mit zunehmendem Alter abnehmen, das heißt, daß die Gelenkflächen der ausgewachsenen Halswirbelsäule flacher stehen als die der juvenilen Probanden. Ihre Untersuchung endet allerdings bei Probanden mit einem Lebensalter von maximal 3o Jahren. Bei den durchgeführten Messungen, die Patienten bis über 7o Lebensjahre berücksichtigen, zeigte sich, daß mit zunehmendem Alter der Winkel zur Horizontalen abnimmt, die Stellung der Gelenkfläche zur Grundplatte also flacher wird. Dies ist ein möglicher Hinweis auf die altersbedingten geringeren Rotationsumfänge, bei der Sagittalbewegungen aber weiterhin ausgiebig möglich sind.

Die Sagittalbewegungen erreichen ihr Maximum bei C_5 und C_6. Da in diesem Abschnitt die Facetten die Tendenz zur Horizontalneigung zeigen, scheinen horizontal eingestellte Facetten die Sagittalbewegung besonders ausführlich zu gestatten.

Im Vergleich mit BENNINGHOFF und GOERTTLER (1975), die die durchschnittliche Horizontalneigung der Halswirbelgelenke mit 45° angeben, stimmt der gemessene Wert von 47° nahezu überein, wobei herausgefunden wurde, daß die caudalen Facetten um 7° bis 8° weniger zur Horizontalen geneigt sind als die cranialen Facetten.

Das unterschiedliche Bewegungsausmaß bezüglich der Auslenkungen in der Frontal- und Horizontalebene kann durch das Neigungsverhalten der Gelenkflächen zur Horizontalebene nicht erklärt werden. Die Breite der Wirbelkörper

nimmt zwar von cranial nach caudal zu, zwangsläufig auch der horizontale Durchmesser der Bandscheiben, was nach MORRIS (1973) bereits eine verminderte Seitneigung zur Folge hat. Fraglich ist, ob nicht noch andere Parameter zu finden sind, welche das unterschiedliche Bewegungsmuster mit beeinflussen können. Der von cranial nach caudal stattfindende Kippungswechsel der Facetten in Bezug zur Frontalebene kann für ein derartiges Torsionsverhalten mit verantwortlich gemacht werden.

Wie auch bei DECKING und TER STEEGE (1975) konnten keine geschlechtsspezifischen Winkeldifferenzen festgestellt werden.

Während sich die Untersuchungen von DECKING und TER STEEGE (1975) darauf beschränken, die bei den einzelnen Segmenten gefundenen Winkel zu beschreiben und deren Durchschnitte zu ermitteln, um somit über Altersgruppen und Geschlecht Vergleichbarkeiten zu schaffen, wurden darüber hinaus Stellungsvarianten der Wirbelbogengelenke untersucht. Eines der auffallendsten Ergebnisse war die hohe Rate von Facettenasymmetrien mit über 8o % im Bewegungssegment $C_{2/3}$.

Wenn man davon ausgeht, daß die Rotation in Abhängigkeit von der Kopfstellung von der oberen Halswirbelsäule auf den unteren Cervicalabschnitt übertragen wird (JIROUT 1968), so ist die Sonderstellung des Abschnittes $C_{2/3}$ als Übergangssegment für die gesamte untere Halswirbelsäule ersichtlich.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Der Facettenneigungswinkel wurde an 4o Mazerationspräparaten mit einem Altersgipfel zwischen 41 und 6o Jahren gemessen. Das Alter variierte zwischen 15 und 81 Jahren bei einem Durchschnitt von 46 Jahren. Das entspricht 8oo Gelenkflächen, wovon 65 % männlichen und 35 % weiblichen Geschlechts waren.

Zur Bestimmung der Winkel wurde eine eigene Laser-Goniometer-Meßmethode entwickelt.

Mit Hilfe statistischer Methoden und der Rechenanlage der Universität Düsseldorf wurden im Rahmen des BMPD (Bio Medical Computer Program 1975) Varianz- und Korrelationsanalysen durchgeführt.

Erstmals wurde unterschieden in Horizontalneigung und Frontalkippung der Facettenneigung. Hier waren bisher keine Werte in der Literatur angegeben und konnten somit auch nicht verglichen werden.

Im wesentlichen ergab sich eine Übereinstimmung mit der vergleichbaren Literatur, soweit diese vorhanden war. Zusammenhänge zwischen dem Geschlecht und der Gelenkfacettenneigung konnten nicht gefunden werden, während in Abhängigkeit vom Alter die Gelenkneigungswinkel abnehmen, die Neigung der Gelenkflächen zur Wirbelgrundplatte also flacher wird.

Die hohe Rate von Facettenasymmetrien bei $C_{2/3}$ von 8o % weist auf die Sonderstellung dieses Abschnittes als Übergangssegment für die gesamte unter Halswirbelsäule hin. Die allgemein hohen Standardabweichungen deuten insgesamt eine ausgeprägte Variationsbreite der Facettenstellung an. Das gilt in gleicher Weise sowohl für das horizontale Neigungsverhalten als auch für die Kippung zur Frontalebene. Die im Vergleich höchsten Standardabweichungen finden sich nicht nur im cervico-thoracalen

Übergang, sondern auch am dritten Cervicalwirbel, so daß davon ausgegangen werden kann, daß an beiden Übergangsstellen der unteren Halswirbelsäule eine ausgeprägte morphologische Unruhe in den Wirbelbogengelenken zu erwarten ist, die sich nicht nur funktionell auswirken sollte, sondern möglicherweise auch klinische Relevanz erlangen könnte.

6. LITERATURVERZEICHNIS

ALBERS, D. : Eine Studie über die Funktion der Halswirbelsäule bei dorsaler und ventraler Flexion
Fortschr. Röntgenstr. 81 (1954) 606

BAKKE, S.N. : Röntgenologische Beobachtungen über die Bewegungen der Wirbelsäule
Acta radiol. Suppl. 13
Stockholm, 1931

BÄRTSCHI-ROCHAIX, W. : Migraine cervicale
Huber, Bern, 1949

BENNINGHOFF, A. u. GOERTTLER, K. : Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Bd. I: Allgemeine Anatomie, Cytologie und Bewegungsapparat, 11. Aufl.
Urban und Schwarzenberg, München, Berlin, Wien 1975 a

BIOMEDICAL COMPUTER PROGRAM (BMDP) : University of California-Press
Barcley, Los Angeles 1975

BUETTI-BÄUML, C. : Funktionelle Röntgendiagnostik der Halswirbelsäule
Thieme-Verlag, Stuttgart 1954

DECKING, D. W. ter STEEGE : Röntgenologische Parameter der Halswirbelsäule im seitlichen Strahlengang
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 64, Hippokrates, Stuttgart 1975

DE SÈZE, S.
A. DJIAN, M. ABDELMOULA : Röntgenologische Untersuchungen der Dynamik der Halswirbelsäule in der Sagittalebene
Rev. Rhum. 18 (1951) 111

DITTMAR, O. : Die sagittal- und lateralflexorische Bewegung der menschlichen Wirbelsäule im Röntgenbild.
Zur Mechanologie der Wirbelsäule
Z. Anat. Entwickl. Gesch.
92 (1931) 644

ECKLIN, U. : Die Altersveränderungen der Halswirbelsäule
Springer, Berlin 1960

EXNER, G. : Die Halswirbelsäule
Thieme Verlag, Stuttgart 1954

FICK, R. : Handbuch der Anatormie und Mechanik der Gelenke unter besonderer Berücksichtigung der bewegenden Muskeln
Bd. 1 - 3; Fischer, Jena 1904-1911

FIELDING, J.W. : Normal and selected abnormal motion of the cervical spine from the second cervical vertebra to the seventh cervical vertebra based on cineroentgenography
J. Bone Jt. Surg. 46-A (1964) 1779

GÜNTZ, E. : Wirbelsäule und Becken in Ruhe und Bewegung
In: Handbuch der Orthop. Bd. II
Thieme, Stuttgart 1958

HINZ, P.
H. ERDMANN : Zur manuellen Untersuchung der Halswirbelsäule in der Gutachterpraxis
Z. Orthop. 1o4 (1967) 28

JIROUT, J. : Die Rolle der Axis bei Seitneigung der Halswirbelsäule und die "latente Skoliose"
Fortschr. Röntgenstr.
1o9 (1968) 74

JONES, M.D. : Cineradiographic studies of the normal cervical spine
Calif. Med. 93 (196o) 293

JUNGHANNS, H. : Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheiben als Grundlage für klinische Betrachtungen
Langenbeck's Arch. klin. Chir.
267 (1951) 393

JUNGHANNS, H. : Biomechanische und biochemische Probleme der Wirbelsäulenbelastung.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 38
Hippokrates-Verlag, Stuttgart 1979

LIECHTI, A. : Die Röntgendiagnostik der Wirbelsäule und ihre Grundlagen
Springer, Berlin, Wien 1944

LYSELL, E. : Motion in the cervical spine
Acta orthop. Scand. (Suppl.)
123 (1969)

MEBS, G. : Eine einfache Methode zur Messung der drei Hauptbewegungen der Halswirbelsäule
Med. Diss., Erlangen 1964

MORRIS, J.M. : Biomechanics of the spine
Arch. Surg. 1o7 (1973) 418

NIETHARD, F.U. : Die Form- und Funktionsproblematik des lumbosacralen Übergangs
Habilitationsschrift
Heidelberg 1978

OTTO, W. : Zur Röntgenfunktionsdiagnostik der Halswirbelsäule in der Praxis
Fortschr. Röntgenstr. 83 (1955) 834

PENNING, L. : Functional pathology of the cervical spine
Excerpta Medica Foundation
Amsterdam 1968

PSCHIRRER, M. : Vermessungen an der Halswirbelsäule
Med. Diss. Frankfurt/Main 1968

RIZZI, M.A. : Die menschliche Haltung und die Wirbelsäule
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
Hippokrates-Verlag Stuttgar 1979

SCHMORL G.
JUNGHANNS, H. : Die gesunde und kranke Wirbelsäule im Röntgenbild
1. Aufl.; Thieme-Verlag, Leipzig 1932

TÖNDURY, G. : Entwicklungsgeschichte und Fehlbildungen der Wirbelsäule
In: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 7
Hippokrates-Verlag, Stuttgart 1958

VIRCHOW, H. : Die sagittal-flexorische Bewegung der menschlichen Halswirbelsäule
Arch. orthop. Unfall-Chir. 26 (1928) 1

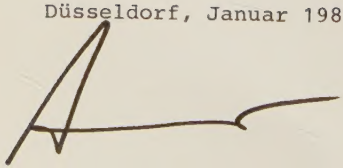
WHOLEY, M.H.
J. BRUWER
H.L. BAKER : The lateral roentgenogram of the neck
Radiology 71 (1958)

DANKSAGUNG
==========

Für die Unterstützung bei der Ausarbeitung dieser Arbeit danke ich Herrn Dr. med. G. LENZ sehr herzlich.

Ferner bedanke ich mich für die freundliche Hilfe von Herrn Prof. Dr. KRANZ und seinen Mitarbeitern des Institutes für angewandte Physik sowie bei Herrn G. MEYER im Institut für medizinische Statistik.

LEBENSLAUF

Heinrich SCHRAAUW	Lindenstraße 95 4ooo Düsseldorf 1
Geburtsdatum	29. Dezember 195o
Geburtsort	Höxter
Familienstand	verheiratet
Beruf des Vaters	Kaufmann
Schulausbildung	1957 - 1961 Volksschule Höxter 1961 - 1967 Gymnasium Höxter
Berufsausbildung	1968 - 1971 Kreissparkasse Höxter in Brakel Abschluß als Bankkaufmann
Wehrdienst	1971 - 1972 Pionierbataillon 7 in Höxter
Studium	1972 - 1975 Gesamthochschule Paderborn Abschluß als Betriebswirt (grad.) 1976 - 1981 Studium der Zahnmedizin an der Universität Düsseldorf

Düsseldorf, Januar 1981